



10/500554

REC'D 18 MAR 2003

WIPO

PCT

10 MAR 2004 PCT/PTO 04 JUL 2004

# BREVET D'INVENTION

**CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION**

## COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 18 DEC. 2002

**DOCUMENT DE PRIORITÉ**

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS  
CONFORMÉMENT À LA  
RÈGLE 17.1.a) OU b)

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (1) 42 93 59 30  
www.inpi.fr



26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75600 Paris Cedex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 47 94 86 54

# BREVET D'INVENTION CERTIFIÉ D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



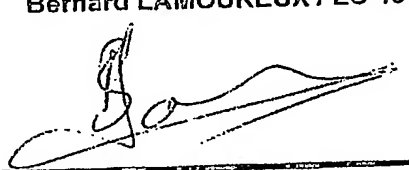
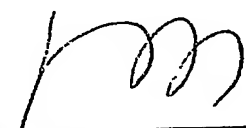
N° 11354\*01

## REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

13-43 W/2-03/97

<b>REMISE DES P-FCFS</b> DATE 3 JAN 2002 LILU 75 INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI 0200032 DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI - 3 JAN. 2002		<b>NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE COMPAGNIE FINANCIERE ALCATEL Département PI Bernard LAMOUREUX 30 avenue Kléber 75116 PARIS	
<b>Vos références pour ce dossier</b> (facultatif) 104381/LA/CVAC/TPM			
<b>Confirmation d'un dépôt par télécopie</b> <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie			
<b>2 NATURE DE LA DEMANDE</b>		<b>Cochez l'une des 4 cases suivantes</b>	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale		N°	Date
ou demande de certificat d'utilité initiale		N°	Date
Transformation d'une demande de brevet européen		<input type="checkbox"/>	Date
Demande de brevet initiale		N°	Date
<b>3 TITRE DE L'INVENTION</b> (200 caractères ou espaces maximum) PROCEDE ET DISPOSITIF DE GRAVURE ANISOTROPE DU SILICIUM A HAUT FACTEUR D'ASPECT			
<b>4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ</b> OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation Date N° Pays ou organisation Date N° Pays ou organisation Date N° <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
<b>5 DEMANDEUR</b>		<input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
Nom ou dénomination sociale		ALCATEL	
Prénoms			
Forme juridique		Société Anonyme	
N° SIREN		5.4.2.0.1.9.0.9.6	
Code APE-NAF			
Adresse		Rue 54, rue La Boétie Code postal et ville 75008 PARIS	
Pays		FRANCE	
Nationalité		Française	
N° de téléphone (facultatif)			
N° de télécopie (facultatif)			
Adresse électronique (facultatif)			

REMISE DES PIÈCES DATE: 3 JAN 2002 LIEU: 75 INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT: 0200032 NATIONAL ATTRIBUE PAR L'INPI		(Inscrire à l'INPI)	
Vos références pour ce dossier : <i>(facultatif)</i>		104381/LA/CVAC/TPM	
<b>6 MANDATAIRE</b>			
Nom		LAMOUREUX	
Prénom		Bernard	
Cabinet ou Société		Compagnie Financière Alcatel	
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel		PG 9222	
Adresse	Rue	30 Avenue Kléber	
	Code postal et ville	75116	PARIS
N° de téléphone <i>(facultatif)</i>			
N° de télécopie <i>(facultatif)</i>			
Adresse électronique <i>(facultatif)</i>			
<b>7 INVENTEUR (S)</b>			
Les inventeurs sont les demandeurs		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée	
<b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b>		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance		Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
<b>9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt (joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence)	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes			
<b>10 SIGNATURE DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire)		Bernard LAMOUREUX / LC 40 B 	
		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI 	

PROCEDE ET DISPOSITIF DE GRAVURE ANISOTROPE  
DU SILICIUM A HAUT FACTEUR D'ASPECT

La présente invention concerne les procédés et dispositifs  
utilisés pour réaliser des microreliefs à la surface des substrats,  
5 notamment des substrats en silicium.

L'invention concerne plus spécialement les procédés et  
dispositifs permettant de réaliser de tels reliefs par attaque  
chimique anisotrope au plasma, pour la réalisation de composants à  
base de silicium, par exemple des composants à semi-conducteur pour  
10 l'électronique, ou des pièces pour composants de micromécanique.

Dans la fabrication de tels composants, on cherche en  
général à réaliser des reliefs qui reproduisent sur la surface du  
substrat un modèle plan à deux dimensions dont les bords sont nets  
et perpendiculaires au plan. Par exemple, on veut réaliser un trou  
15 borgne ou traversant, selon la direction perpendiculaire au plan  
général du substrat ou tranche de silicium, et la paroi du trou  
doit être parallèle à l'axe, la section du trou étant constante sur  
toute sa hauteur.

Dans le domaine industriel des MEMS, ou microsystèmes  
20 électromécaniques, il y a une demande de plus en plus importante  
pour la réalisation de structures à très haut facteur d'aspect dans  
des substrats de silicium. On peut citer comme exemple l'intérêt  
qu'il y aurait à réaliser des trous de 2 à 3  $\mu\text{m}$  de diamètre sur des  
profondeurs de 100 à 200  $\mu\text{m}$ , correspondant à un facteur d'aspect de  
25 30 à 100, pour fabriquer des condensateurs de forte capacité et  
miniaturisés pour être utilisés dans les téléphones portables.

Un autre exemple est le souhait de réaliser des trous de  
l'ordre de 10  $\mu\text{m}$  de diamètre sur toute l'épaisseur d'une plaquette  
de silicium pour réaliser les prises de contact : ces trous, une  
30 fois métallisés, permettraient de réaliser les connexions  
électriques vers l'extérieur en remplacement des habituels fils  
d'or. On pourrait ainsi réaliser des connexions très  
reproductibles, mais surtout beaucoup plus courtes, diminuant les  
inductances parasites et présentant ainsi un grand intérêt pour les  
35 applications haute fréquence.

On pourrait également envisager d'hybrider des MEMS avec des circuits intégrés classiques et obtenir ainsi des MEMS avec le traitement du signal intégré.

Le micro-usinage des substrats en silicium est  
 5 actuellement réalisé par des techniques de gravure au plasma. La technique la plus répandue aujourd'hui est pour cela la gravure par plasma de gaz fluoré telle que décrite dans les documents US 5 501 893 ou US 4 985 114. Cette technique consiste à protéger  
 10 le substrat ainsi protégé partiellement à une succession alternée d'étapes d'attaque par plasma de gaz de gravure et d'étapes de passivation par plasma de gaz de passivation. Au cours de chaque étape d'attaque, le plasma de gaz de gravure tel que l'hexafluorure  


---

 de soufre  $\text{SF}_6$  réalise des cavités dans les zones de substrat non  
 15 protégées par le masque. Au cours de chaque étape de passivation, le plasma de gaz de passivation tel qu'un gaz fluorocarboné, par exemple  $\text{C}_4\text{F}_8$ , dépose sur la paroi de la cavité un film polymère protecteur. Chacune des étapes d'attaque et de passivation a une  
 20 durée très courte, de quelques secondes, et la passivation évite, au cours de l'étape d'attaque ultérieure, que le plasma de gaz de gravure attaque la paroi latérale de la cavité. Il en résulte que l'attaque se fait sélectivement dans le fond de la cavité, après que le plasma de gaz de gravure ait enlevé le film de polymère protecteur dans le fond de la cavité. Ainsi, malgré le caractère  
 25 isotrope de l'attaque du silicium par un plasma de gaz de gravure tel qu'un gaz fluoré, on obtient une gravure quasi anisotrope, rapide et sélective du silicium.

Mais lorsqu'on utilise cette technique pour réaliser des gravures de motifs à haut facteur d'aspect, comme des tranchées de  
 30 2 à 3  $\mu\text{m}$  de large, on se rend compte que le profil de gravure est tout d'abord vertical puis, à partir d'une certaine profondeur, ce profil devient légèrement positif de sorte que les deux côtés de la tranchée finissent par se rejoindre, et il n'est plus possible d'augmenter la profondeur de la tranchée. Le résultat obtenu est  
 35 illustré sur la figure 1, qui est la photographie d'une coupe de substrat de silicium gravé par cette technique connue : dans un substrat 2 dont la surface 2a est recouverte d'un masque 2c, on a

tenté de réaliser une cavité 2b profonde ; il n'a pas été possible d'atteindre une profondeur de plus d'une cinquantaine de  $\mu\text{m}$ , les parois de la cavité 2b se rejoignant selon un fond 2g de section nulle empêchant toute gravure supplémentaire. A ce jour, en pratique, on ne sait guère faire des gravures de motifs avec des facteurs d'aspect supérieurs à 20, c'est-à-dire ayant une profondeur supérieure à 20 fois la largeur ou le diamètre.

Il existe donc un besoin d'augmenter le facteur d'aspect des reliefs réalisés par gravure sur un substrat de silicium.

10 Pour cela, une première solution a été d'augmenter l'énergie des ions pendant l'étape de gravure, en augmentant la tension de polarisation du substrat. Se faisant, on diminue le nombre d'ions perdus sur les parois de la tranchée et on peut bénéficier de plus d'ions pour pulvériser la couche de polymère  
15 dans le fond de la tranchée. On a ainsi pu augmenter légèrement le facteur d'aspect, passant d'un facteur de 20 à un facteur de 23 seulement. Par contre, cette solution présente le gros inconvénient d'augmenter la vitesse d'attaque du masque lui-même qui est en silice ou en résine photosensible, et on diminue ainsi la  
20 sélectivité de gravure.

Une seconde solution qui a été imaginée est d'augmenter le flux d'ions arrivant sur la surface du substrat, en espérant avoir ainsi assez d'ions pour pulvériser le film de polymère dans le fond des cavités. Pour cela, on a tout d'abord augmenté la puissance de  
25 la source de plasma. On a pu ainsi augmenter le facteur d'aspect jusqu'à environ 27, mais en dégradant la sélectivité par rapport au masque comme dans la solution précédente. En alternative, on a placé le substrat au plus près de la source de plasma, et on a pu ainsi augmenter également le facteur d'aspect jusqu'à environ 27.  
30 Mais on a alors dégradé l'uniformité de gravure, c'est-à-dire la profondeur de gravure en fonction des zones considérées sur le substrat.

Une troisième solution qui a été imaginée est de diminuer la pression de travail, afin d'augmenter ainsi le libre parcours  
35 moyen des particules, diminuant ainsi les collisions entre particules et augmentant la directivité des ions. Comme dans la première solution, on a pu bénéficier de plus d'ions pour

pulvériser la couche de polymère dans les coins du fond de la tranchée, et on a pu augmenter légèrement le facteur d'aspect jusqu'à une valeur d'environ 23. Cette solution ne permet pas d'augmenter sensiblement le facteur d'aspect, et présente en outre  
5 l'inconvénient de diminuer considérablement la vitesse de gravure du silicium, ce qui est contraire au but recherché.

Les résultats de ces essais sont illustrés sur la figure 2. La courbe A illustre le procédé habituel de gravure par alternance d'étapes d'attaque pas plasma de gaz fluoré et d'étapes  
10 de passivation par plasma de gaz fluorocarboné selon le document US 5 501 893. La courbe B illustre le résultat obtenu en augmentant la tension de polarisation du substrat, c'est-à-dire en augmentant l'énergie de bombardement des ions du plasma. La courbe C illustre  
~~le résultat obtenu en rapprochant le substrat au plus près de la~~  
15 source de plasma. Et la courbe D illustre le résultat obtenu en réduisant d'un facteur deux la pression d'atmosphère dans la chambre de gravure.

Dans chaque cas, la courbe illustre la variation progressive de la vitesse de gravure, ou vitesse de creusement des  
20 cavités, en fonction de la profondeur atteinte de la cavité. On constate que pour chaque courbe la vitesse de gravure diminue progressivement en fonction de la profondeur de cavité. Pour chaque courbe, on atteint un maximum de profondeur, et ce maximum détermine le facteur d'aspect maximum pouvant être atteint par le  
25 procédé. La courbe A montre un facteur d'aspect maximum d'environ 21. La courbe B montre un facteur d'aspect maximum d'environ 23. La courbe C montre un facteur d'aspect maximum d'environ 29. La courbe D montre un facteur d'aspect maximum d'environ 23.

La présente invention a pour but de réaliser une gravure  
30 de silicium ayant une anisotropie pratiquement parfaite, sans attaque par contre-dépouille ni rétrécissement progressif de la cavité, jusqu'à des profondeurs nettement augmentées permettant d'atteindre des facteurs d'aspect supérieurs à 30.

De préférence, l'invention vise également à réaliser de  
35 telles gravures avec des vitesses au moins aussi élevées, sinon supérieures aux vitesses de gravure par les procédés connus en

étapes alternées d'attaque par plasma de gaz fluoré et de passivation par plasma de gaz fluorocarboné.

Pour atteindre ces buts ainsi que d'autres, l'invention prévoit un procédé de gravure anisotrope du silicium, dans lequel un substrat de silicium protégé partiellement par un masque est soumis à une succession alternée d'étapes d'attaque par plasma de gaz de gravure réalisant des cavités dans les zones de substrat non protégées par le masque et d'étapes de passivation par plasma de gaz de passivation assurant un dépôt de polymère protecteur sur les parois des cavités résultant des étapes d'attaque ;

le procédé de l'invention comprend en outre des étapes impulsionsnelles de dépassivation sélective par lesquelles le dépôt de polymère protecteur est soumis à l'action d'un plasma de gaz de nettoyage plus efficace que le gaz de gravure et qui enlève le polymère protecteur dans la zone de fond des cavités.

Grâce à un nettoyage plus efficace du film protecteur dans la zone de fond des cavités, on fait disparaître l'inconvénient du rapprochement progressif des parois de la cavité dans le fond de la cavité, permettant d'atteindre des facteurs d'aspect nettement plus élevés.

Selon un mode de réalisation, le procédé comprend une étape impulsionsnelle de dépassivation sélective après chaque étape de passivation.

Avantageusement, chaque étape impulsionsnelle de dépassivation sélective est disjointe de l'étape de passivation qui la précède et de l'étape d'attaque qui la suit.

Le gaz de gravure peut avantageusement être un gaz fluoré tel que  $\text{SF}_6$ ,  $\text{CF}_4$  ou  $\text{NF}_3$ . Les meilleurs résultats semblent être obtenus par  $\text{SF}_6$ .

Le gaz de passivation peut avantageusement être un gaz fluorocarboné, tel que  $\text{CHF}_3$ ,  $\text{C}_2\text{F}_6$ ,  $\text{C}_2\text{F}_4$ ,  $\text{C}_4\text{F}_8$ , ou leurs mélanges.

Dans tous les cas, le gaz de nettoyage peut avantageusement contenir de l'oxygène. On peut ainsi utiliser comme gaz de nettoyage l'un au moins des gaz  $\text{O}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , ou leurs mélanges.



Selon un autre aspect, l'invention prévoit un dispositif de gravure anisotrope de substrat en silicium, pour la mise en œuvre d'un procédé tel que défini ci-dessus, comprenant :

- une enceinte étanche conformée pour recevoir et contenir un substrat à graver,
  - des moyens de création et de maintien d'un vide approprié dans l'enceinte,
  - des moyens d'injection de gaz pour injecter sélectivement dans l'enceinte des gaz de gravure, des gaz de passivation et des gaz de nettoyage selon des durées et des débits programmés,
  - des moyens de génération d'un plasma dans l'enceinte, face à la surface de substrat à graver,
  - des moyens de polarisation du substrat,
  - ~~- des moyens de commande pour piloter les moyens d'injection de gaz~~
- selon les étapes successives de gravure, de passivation et de dépassivation.

Selon un autre aspect, l'invention permet de réaliser des composants à base de silicium à microreliefs présentant un facteur d'aspect supérieur à 30, en utilisant par exemple un procédé tel que défini ci-dessus. De tels composants présentant en eux-mêmes un caractère de nouveauté, car ils n'avaient pas pu être obtenus jusqu'à présent.

D'autres objets, caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description suivante de modes de réalisation particuliers, faite en relation avec les figures jointes, parmi lesquelles:

- la figure 1 précédemment considérée illustre le profil de tranchées réalisés par un procédé de gravure selon l'art antérieur ;
- la figure 2 illustre les courbes de vitesse de gravure en fonction du facteur d'aspect pour plusieurs procédés de gravure connus ;
- la figure 3 illustre une vitesse d'attaque d'un film de polymère protecteur, en fonction de la tension de polarisation de substrat, d'une part lors d'une attaque par  $\text{SF}_6$ , d'autre part lors d'une attaque par un plasma d'oxygène ;

- la figure 4 illustre schématiquement un dispositif de gravure selon un mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 5 est un diagramme temporel illustrant les étapes du procédé selon un mode de réalisation de l'invention ;
- 5 - la figure 6 illustre schématiquement la formation d'une cavité lors de la suite de quatre étapes successives selon le procédé de la figure 5 ; et
- la figure 7 illustre un profil de tranchées en cours de réalisation par un procédé de gravure selon l'invention.

10 On considère tout d'abord le dispositif de gravure selon l'invention, par exemple dans le mode de réalisation illustré sur la figure 4.

Un tel dispositif comprend une enceinte 1 étanche, conformée pour recevoir et contenir un substrat 2 à graver. Le  
15 substrat 2 est posé sur un support 3 lui-même polarisé négativement par rapport à la masse par des moyens de polarisation comprenant une source de polarisation 4.

Un dispositif de génération de vide 6, relié à l'enceinte 1 par une canalisation 7, et comprenant par exemple une pompe  
20 primaire et une pompe secondaire, permet de créer et de maintenir un vide approprié dans l'enceinte 1.

Le substrat 2 est orienté dans l'enceinte 1 de façon que sa surface 2a à travailler soit apparente. On veut par exemple réaliser dans la surface 2a des cavités telles que la cavité 2b.

25 Face à la surface 2a à usiner, se trouvent des moyens de génération de plasma 8, pour générer un plasma 9 qui est dirigé vers la surface 2a à usiner et qui se trouve attiré par le substrat 2 polarisé par la source de polarisation 4. Le moyen de génération de plasma 8 comprend, de façon schématique, un générateur de micro-  
30 ondes ou radiofréquences 10 qui, par l'intermédiaire d'un transducteur ou d'un applicateur radio-fréquences 11, excite les atomes de gaz dans une zone de génération de plasma 12.

Le dispositif comprend en outre des moyens 13 pour injecter selectivement dans l'enceinte 1 des gaz de gravure, des  
35 gaz de passivation et des gaz de dépassivation. Ainsi, ces moyens d'injection de gaz 13 comprennent une entrée de gaz 14 dans l'enceinte 1, de préférence en amont de la zone de génération de

plasma 12, l'entrée de gaz 14 étant reliée par des canalisations 15 et des vannes de commande 16, 17 et 18 respectivement à une source de gaz de gravure 19, à une source de gaz de passivation 20 et à une source de gaz de nettoyage 21. Les vannes de commande 16, 17 et 5 18 sont actionnées par des moyens de commande 22 pour piloter l'injection de gaz selon les étapes successives de gravure, de passivation et de dépassivation du procédé qui sera décrit ci-après.

On considérera maintenant les diagrammes de la figure 5, 10 qui illustrent respectivement les temps d'ouverture de la vanne 16 pour l'alimentation en gaz de gravure, les temps d'ouverture de la vanne 17 pour l'alimentation en gaz de passivation, et les temps d'ouverture de la vanne 18 pour l'alimentation en gaz de nettoyage. On voit que les étapes du procédé sont impulsives, 15 c'est-à-dire de durée limitée entre des périodes d'arrêt.

On voit que la première étape d'attaque a) consiste à ouvrir la vanne 16, pour générer un plasma 9 de gaz de gravure. La première étape d'attaque a) est suivie d'une seconde étape de passivation b) disjointe, au cours de laquelle on ferme la vanne 16 20 et on ouvre la vanne 17 pour la génération d'un plasma 9 de gaz de nettoyage. Ensuite on ferme la vanne 17 et, au cours d'une étape de dépassivation sélective c) on ouvre la vanne 18 pour la génération d'un plasma 9 de gaz de nettoyage. On ferme ensuite la vanne 18 et on recommence les opérations dans une étape d) en ouvrant à nouveau 25 la vanne 16 pour la génération d'un plasma de gaz de gravure, et ainsi de suite.

Dans le mode de réalisation illustré sur la figure 5, les étapes successives a), b), c) et d) sont disjointes les unes des autres. On pourrait toutefois, sans sortir du cadre de l'invention, 30 prévoir une étape c) qui empiète sur l'une et/ou l'autre des étapes b) et d) adjacentes.

Au cours de l'étape a) de génération d'un plasma de gaz de gravure, on introduit dans l'enceinte 1 un gaz de gravure de type gaz fluoré, tel que  $\text{SF}_6$ ,  $\text{CF}_4$  ou  $\text{NF}_3$  par exemple. D'excellents 35 résultats sont obtenus en utilisant l'hexafluorure de soufre  $\text{SF}_6$ . Pendant cette étape, les atomes de fluor générés dans le plasma attaquent de manière isotrope la surface de silicium exposée. Sur

la figure 6, on a illustré schématiquement l'action des plasmas sur le substrat : le substrat 2 est illustré en coupe partielle à grande échelle, à l'endroit d'une cavité 2b à réaliser : le substrat 2 est recouvert d'un masque 2c comportant une lumière 2d  
 5 au droit de la cavité 2b à réaliser. Ainsi, par la lumière 2d, le substrat 2 reste apparent et accessible par le plasma.

Sur la vue o) de la figure 6, le substrat 2 est représenté avant gravure.

Sur la vue a) de la figure 6, on a illustré l'action du  
 10 plasma de gaz de gravure  $\text{SF}_6$ , qui attaque de façon isotrope le silicium du substrat 2 au droit de la lumière 2d pour réaliser un premier tronçon 2b1 de la cavité 2b. La durée de l'étape de gravure entre les instants  $t_1$  et  $t_2$  sur la figure 5, est choisie de façon que le premier tronçon 2b1 de cavité présente une forme peu  
 15 différente de la forme désirée, c'est-à-dire avec une paroi latérale 2e, sensiblement perpendiculaire à la surface 2a du substrat. Une profondeur de premier tronçon 2b1 de quelques microns peut convenir. On peut choisir des paramètres de gravure tels que ceux habituellement utilisés, par exemple une polarisation du  
 20 substrat 2 de l'ordre de 20 à 80 volts, une pression de l'atmosphère 5 gazeuse dans l'enceinte 1 de l'ordre de 10 à 100 Pa, et le débit de gaz de gravure est de l'ordre de 10 à 200 Sccm ( $\text{cm}^3$  standard par minute).

Au cours de l'étape b) de passivation, on génère un plasma  
 25 de gaz de passivation en utilisant un gaz fluorocarboné tel que  $\text{CHF}_3$ ,  $\text{C}_2\text{F}_6$ ,  $\text{C}_2\text{F}_4$ ,  $\text{C}_4\text{F}_8$ . La pression de l'atmosphère 5 dans l'enceinte 1 est similaire de celle de l'étape a), et le débit de gaz de passivation est compris entre 50 et 300 Sccm. Au cours de cette étape, comme illustré sur la vue b) de la figure 6, le plasma de  
 30 gaz de passivation génère la formation d'un film de polymère protecteur 2f sur toute la surface intérieure du premier tronçon 2b1 de cavité, c'est-à-dire à la fois sur la paroi latérale 2e et sur le fond 2g. La durée entre les instants de début  $t_2$  et de fin  $t_3$  de l'étape b) est choisie de façon que l'épaisseur du film  
 35 protecteur soit satisfaisante, par exemple de l'ordre de quelques nanomètres à quelques dizaines de nanomètres.

Au cours de l'étape c), on génère un plasma de gaz de nettoyage ou de dépassivation, choisi de façon à assurer un nettoyage du polymère plus efficace que celui assuré par le gaz de gravure, et qui enlève le polymère dans la zone de fond 2g des cavités 2b de façon sélective. De bons résultats sont obtenus en utilisant un gaz de nettoyage contenant de l'oxygène, par exemple un gaz de nettoyage comprenant l'un au moins des gaz :  $O_2$ ,  $SO_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $N_2O$ .

De préférence, on polarise simultanément le substrat 2 par la source de polarisation 4, pour attirer les ions oxygène sur le substrat 2.

On a pu mesurer la vitesse de gravure du film de polymère par le plasma d'oxygène et la comparer à celle obtenue par le plasma de gaz fluoré  $SF_6$  correspondant à l'étape de gravure. La comparaison est illustrée sur la figure 3. On voit que la courbe correspondant au plasma d'oxygène permet une vitesse de nettoyage VN au moins quatre fois supérieure à la vitesse obtenue par un nettoyage à l'hexafluorure de soufre  $SF_6$ , pour toutes les tensions de polarisation BV entre 0 et 100 volts. Par conséquent, le plasma d'oxygène est au moins quatre fois plus efficace que le plasma de gaz fluoré comme le  $SF_6$  pour nettoyer le film de polymère. De plus, dans un plasma de gaz contenant des atomes d'oxygène, on bénéficie de l'effet oxydant des ions mais aussi de l'effet oxydant des atomes, qui sont des particules neutres à trajectoire isotrope. On constate que l'étape de nettoyage permet d'enlever également le film de polymère sur les flans verticaux de cavité au voisinage du fond de la cavité, évitant ainsi le rétrécissement des motifs et permettant d'atteindre des facteurs d'aspect plus élevés.

Comme le temps passé à enlever le film de polymère est fortement diminué, le temps disponible pour l'étape de gravure est augmenté d'autant, et on peut donc augmenter la vitesse nette de gravure et donc augmenter la productivité de l'équipement.

Au cours de l'étape impulsioonelle de dépassivation sélective ou de nettoyage, le substrat 2 est polarisé à une tension proche de celle utilisée pendant les étapes d'attaque, typiquement de 20 à 120 volts, avantageusement de 20 à 80 volts, de façon à attirer les ions du plasma. La pression de l'atmosphère 5 entourant

le substrat 2 est comprise entre 0,5 et 10 Pa, de préférence comprise entre 2 et 5 Pa. Le débit de gaz de nettoyage est compris entre 10 et 100 Sccm, et la durée de l'étape c) est choisie juste suffisante pour assurer un nettoyage efficace de la zone de fond 2g des cavités 2b.

Comme on le voit sur la vue c) de la figure 6, l'étape de dépassivation par action du plasma d'oxygène  $O_2$  permet d'enlever efficacement et rapidement le film de polymère sur le fond 2g du premier tronçon 2b1 de cavité.

Ensuite, au cours de l'étape d), on recommence une étape d'attaque similaire à l'étape a), par action du plasma de gaz de gravure  $SF_6$ , qui réalise un second tronçon 2b2 de la cavité 2b. On continue ensuite par une étape impuls ionnelle de passivation, puis par une étape de dépassivation et ainsi de suite.

En pratique, la durée des étapes impuls ionnelles de dépassivation sélective c) peut être déterminée en fonction de la durée des étapes de passivation b) qui les précèdent. En effet, plus le film de polymère est épais, plus il faut une étape impuls ionnelle de dépassivation sélective longue.

D'autre part, la durée des étapes impuls ionnelles de dépassivation sélective peut être choisie croissante d'une étape de dépassivation à l'autre au cours du procédé de gravure d'un même substrat 2. En effet, comme indiqué sur la figure 1, les premières étapes de gravure permettent de réaliser une cavité à paroi latérale sensiblement verticale jusqu'à atteindre un facteur d'aspect de l'ordre de 20, sans qu'il soit nécessaire d'utiliser des étapes de nettoyage longues pour conserver la section constante de la cavité. L'intérêt des étapes de dépassivation est alors seulement d'augmenter la rapidité du procédé. Mais ensuite, il devient indispensable d'utiliser les étapes de dépassivation pour garantir l'obtention du facteur d'aspect au-delà de 20 ou 30. On peut alors imaginer d'utiliser des étapes de dépassivation dont la durée est progressive au fur et à mesure de l'augmentation du facteur d'aspect, ou encore des étapes de dépassivation qui sont en nombre croissant, par exemple en allant de une étape de dépassivation pour trois étapes d'attaque et de passivation, puis une étape de dépassivation pour deux étapes d'attaque et de

passivation, puis enfin une étape de dépassivation pour une étape d'attaque et de passivation.

Egalement, selon l'invention, on peut prévoir une tension de polarisation du substrat 2 qui soit progressivement croissante d'une étape de dépassivation à l'autre au cours du procédé de gravure d'un substrat 2.

Le procédé de l'invention permet à la fois d'obtenir des facteurs d'aspect nettement plus élevés que les procédés connus, tout en garantissant une bonne sélectivité vis à vis des masques de laque photosensible, et en augmentant la vitesse globale de gravure.

L'effet obtenu est illustré sur la figure 7, qui est une photographie d'une coupe de substrat de silicium après une opération de gravure partielle selon un procédé de la présente invention. On retrouve le substrat 2 dont la surface 2a est recouverte d'un masque 2c. Les cavités 2b en cours de gravure présentent une paroi latérale sensiblement verticale, de sorte que le fond 2g reste de section transversale suffisante pour autoriser une gravure supplémentaire pour accroître la profondeur des cavités 2b, et pour augmenter ainsi le facteur d'aspect.

La présente invention n'est pas limitée aux modes de réalisation qui ont été explicitement décrits, mais elle en inclut les diverses variantes et généralisations qui sont à la portée de l'homme du métier.

REVENDEICATIONS

1 - Procédé de gravure anisotrope du silicium, dans lequel un substrat (2) de silicium protégé partiellement par un masque (2c) est soumis à une succession alternée d'étapes d'attaque (a) par plasma de gaz de gravure réalisant des cavités (2b) dans les zones de substrat non protégées par le masque (2c) et d'étapes de passivation (b) par plasma de gaz de passivation assurant un dépôt de polymère protecteur (2f) sur les parois des cavités (2b) résultant des étapes d'attaque,

caractérisé en ce qu'il comprend en outre des étapes impulsionnelles de dépassivation sélective (c) par lesquelles le dépôt de polymère protecteur (2f) est soumis à l'action d'un plasma de gaz de nettoyage plus efficace que le gaz de gravure et qui enlève le polymère protecteur (2f) dans la zone de fond (2g) des cavités (2b).

2 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend une étape impulsionnelle de dépassivation sélective (c) après chaque étape de passivation (b).

3 - Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que chaque étape impulsionnelle de dépassivation sélective (c) est disjointe de l'étape de passivation qui la précède (b) et de l'étape d'attaque qui la suit (d).

4 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le gaz de gravure est un gaz fluoré tel que  $\text{SF}_6$ ,  $\text{CF}_4$  ou  $\text{NF}_3$ .

5 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le gaz de passivation est un gaz fluorocarboné tel que  $\text{CHF}_3$ ,  $\text{C}_2\text{F}_6$ ,  $\text{C}_2\text{F}_4$ ,  $\text{C}_4\text{F}_8$ .

6 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que le gaz de nettoyage contient de l'oxygène.

7 - Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que le gaz de nettoyage comprend l'un au moins des gaz  $\text{O}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ .

8 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que, pendant les étapes impulsionnelles de dépassivation sélective (c), le substrat (2) est polarisé de façon à attirer les ions du plasma.



9 - Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que le substrat (2) est polarisé à une tension proche de celle utilisée pendant les étapes d'attaque (a), typiquement de 20 à 120 volts, avantageusement de 20 à 80 volts.

5 10 - Procédé selon l'une des revendications 8 ou 9, caractérisé en ce que la tension de polarisation du substrat (2) est progressivement croissante d'une étape de dépassivation à l'autre au cours du procédé de gravure d'un substrat (2).

10 11 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 8 à 10, caractérisé en ce que, pendant les étapes impulsionsnelles de dépassivation sélective (c), la pression de l'atmosphère (5) entourant le substrat (2) est comprise entre 0,5 et 10 Pa, de préférence comprise entre 2 et 5 Pa.

---

15 ~~12 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que la durée des étapes impulsionsnelles de dépassivation sélective (c) est choisie juste suffisante pour assurer un nettoyage efficace de la zone de fond (2g) des cavités (2b).~~

20 12 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que la durée des étapes impulsionsnelles de dépassivation sélective (c) est déterminée en fonction de la durée des étapes de passivation (b) qui les précèdent.

25 13 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que la durée des étapes impulsionsnelles de dépassivation sélective (c) est croissante d'une étape de dépassivation à l'autre au cours du procédé de gravure d'un substrat (2).

30 14 - Dispositif de gravure anisotrope de substrats (2) en silicium, pour la mise en œuvre d'un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, comprenant :

- une enceinte (1) étanche conformée pour recevoir et contenir un substrat (2) à graver,
- des moyens de création et de maintien d'un vide approprié (6, 7) dans l'enceinte (1),
- 35 - des moyens d'injection de gaz (13) pour injecter sélectivement dans l'enceinte (1) des gaz de gravure, des gaz de passivation et des gaz de nettoyage selon des durées et des débits programmés,

- des moyens de génération (8) d'un plasma (9) dans l'enceinte (1), face à la surface (2a) de substrat (2) à graver,
  - des moyens de polarisation (4) du substrat (2),
  - des moyens de commande (22) pour piloter les moyens d'injection
- 5 de gaz (13) selon les étapes successives de gravure, de passivation et de dépassivation.

16 - Composant à base de silicium à microreliefs (2b) présentant un facteur d'aspect supérieur à 30, réalisé par un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 14.

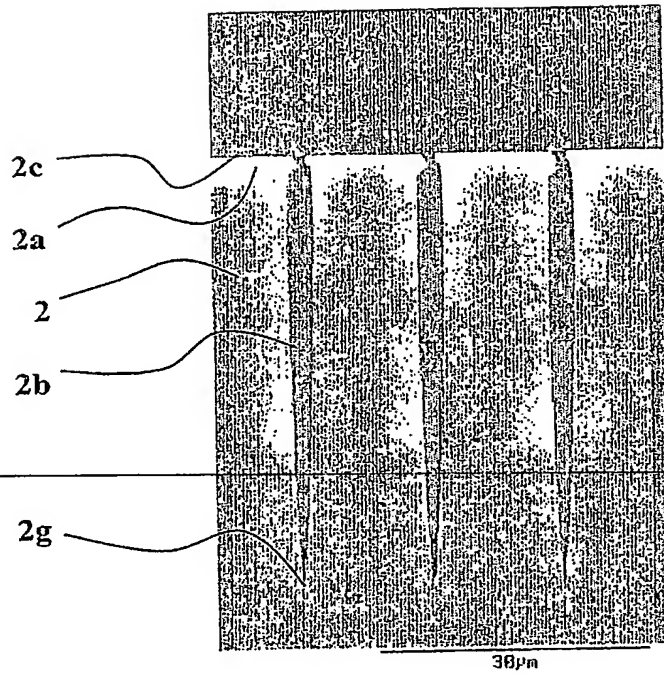


FIG. 1

Vitesse (µm·min)

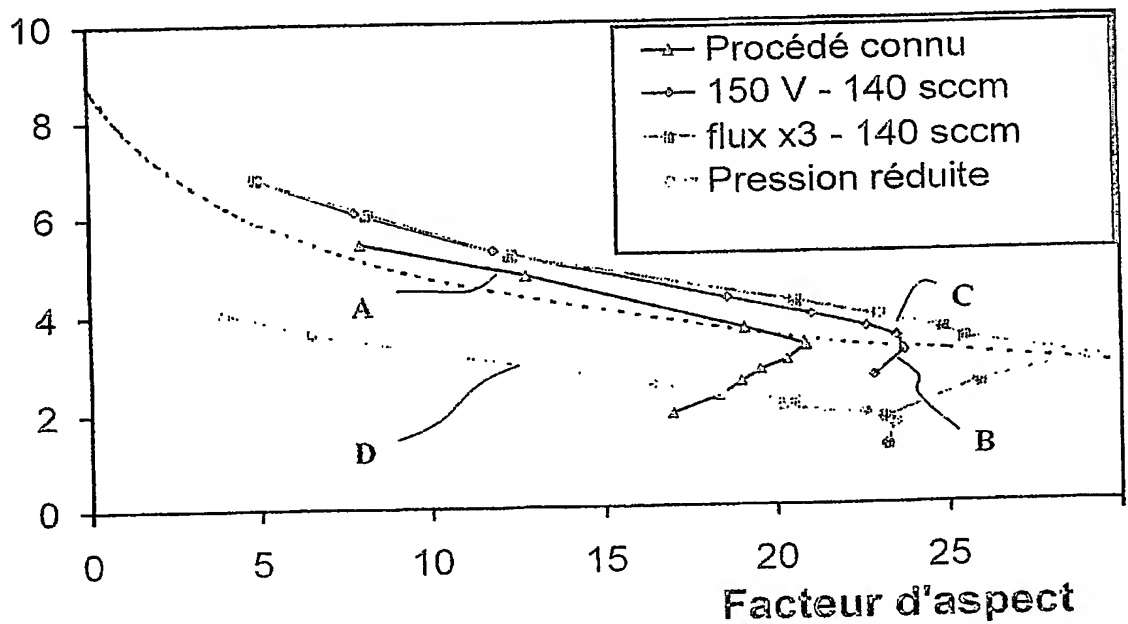


FIG. 2

Vitesse (nm·s)

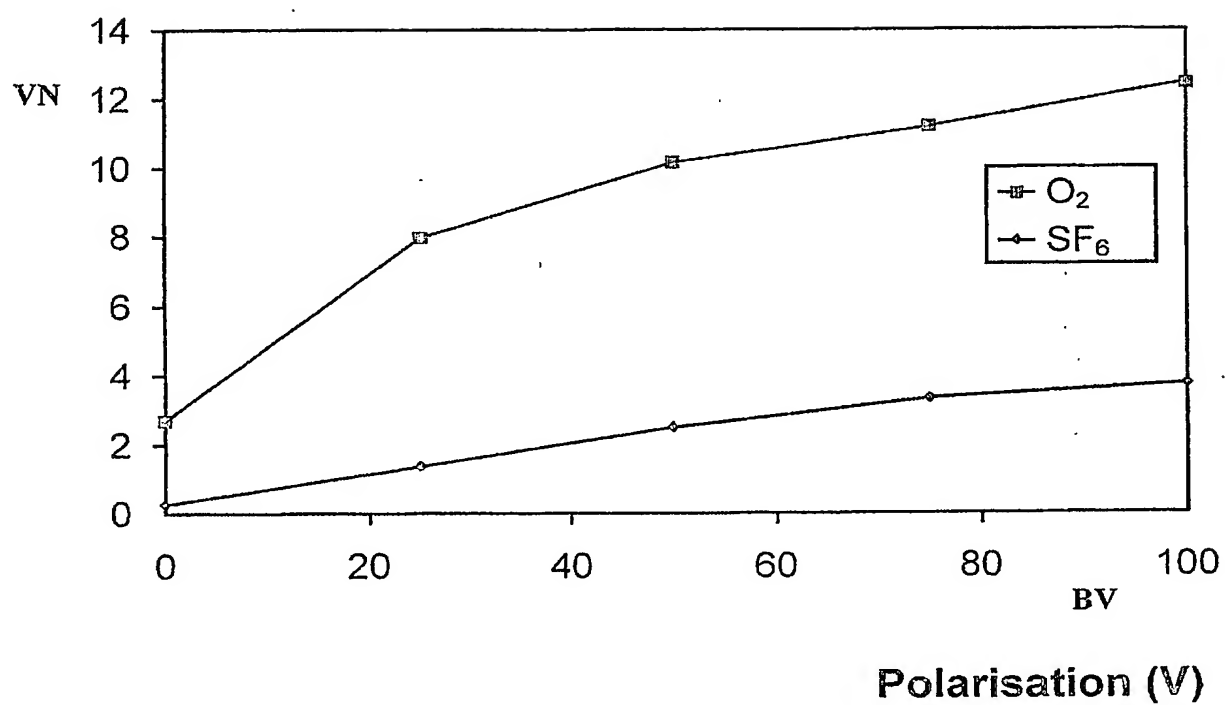


FIG. 3

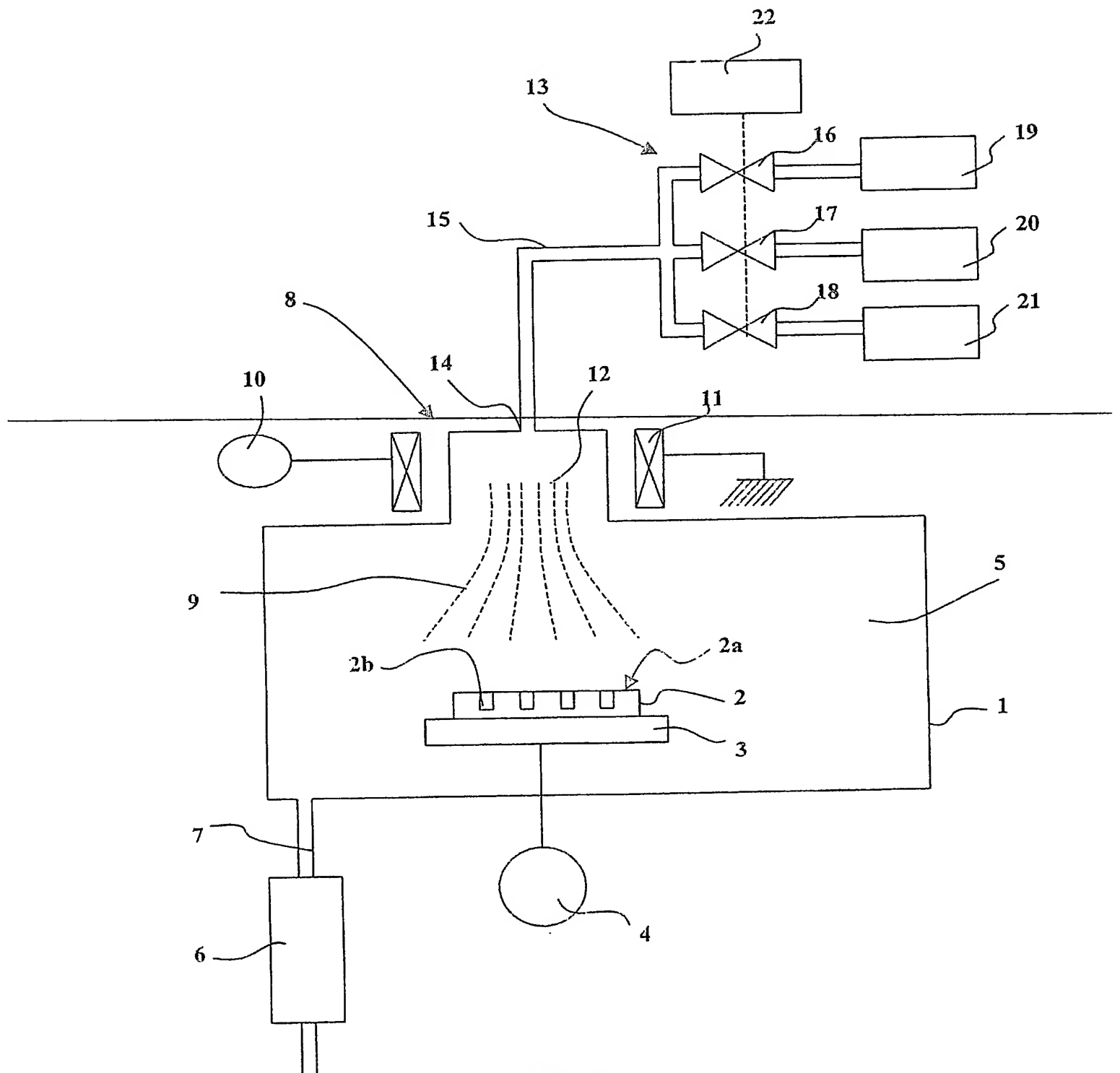


FIG. 4

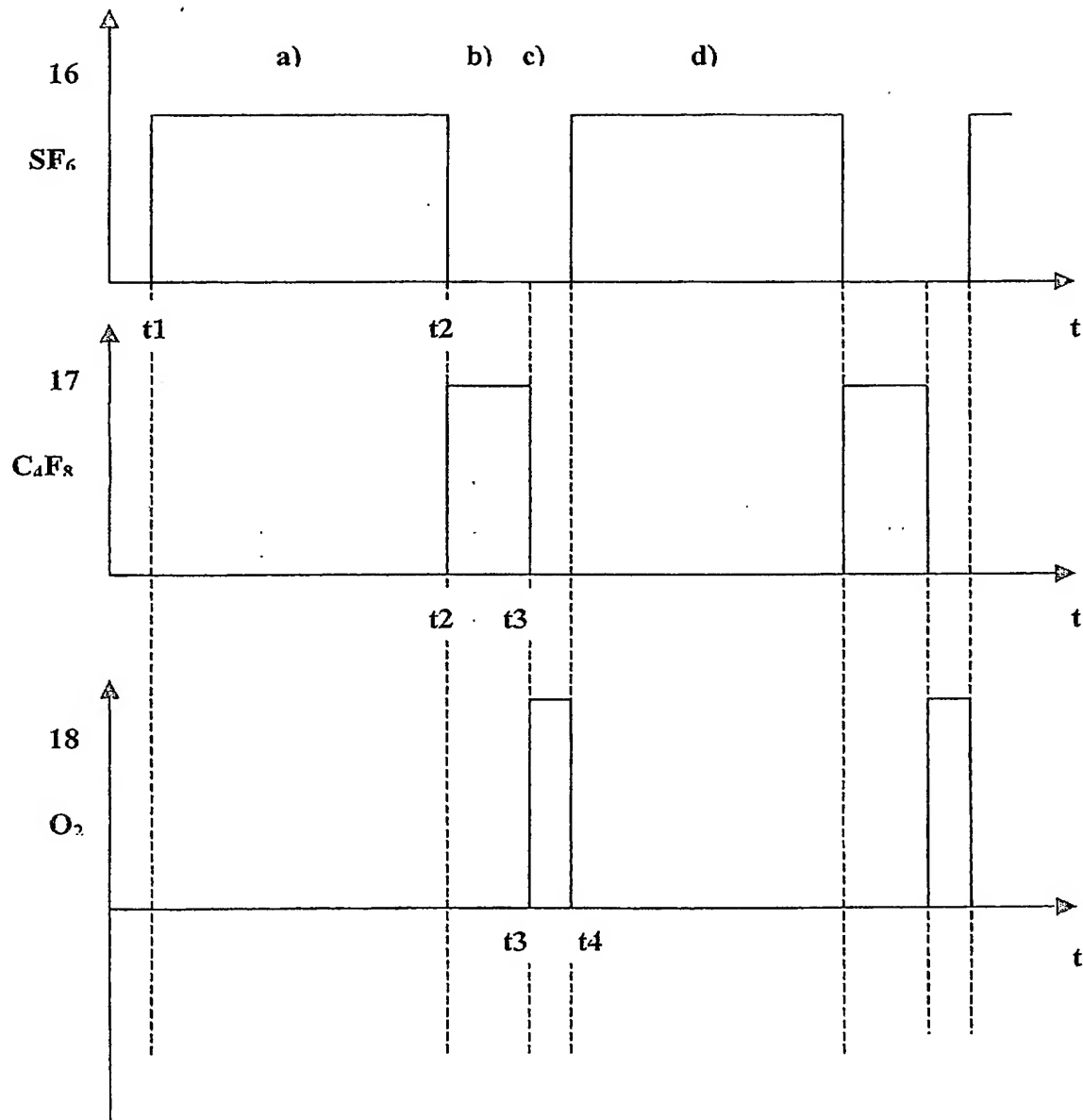


FIG. 5

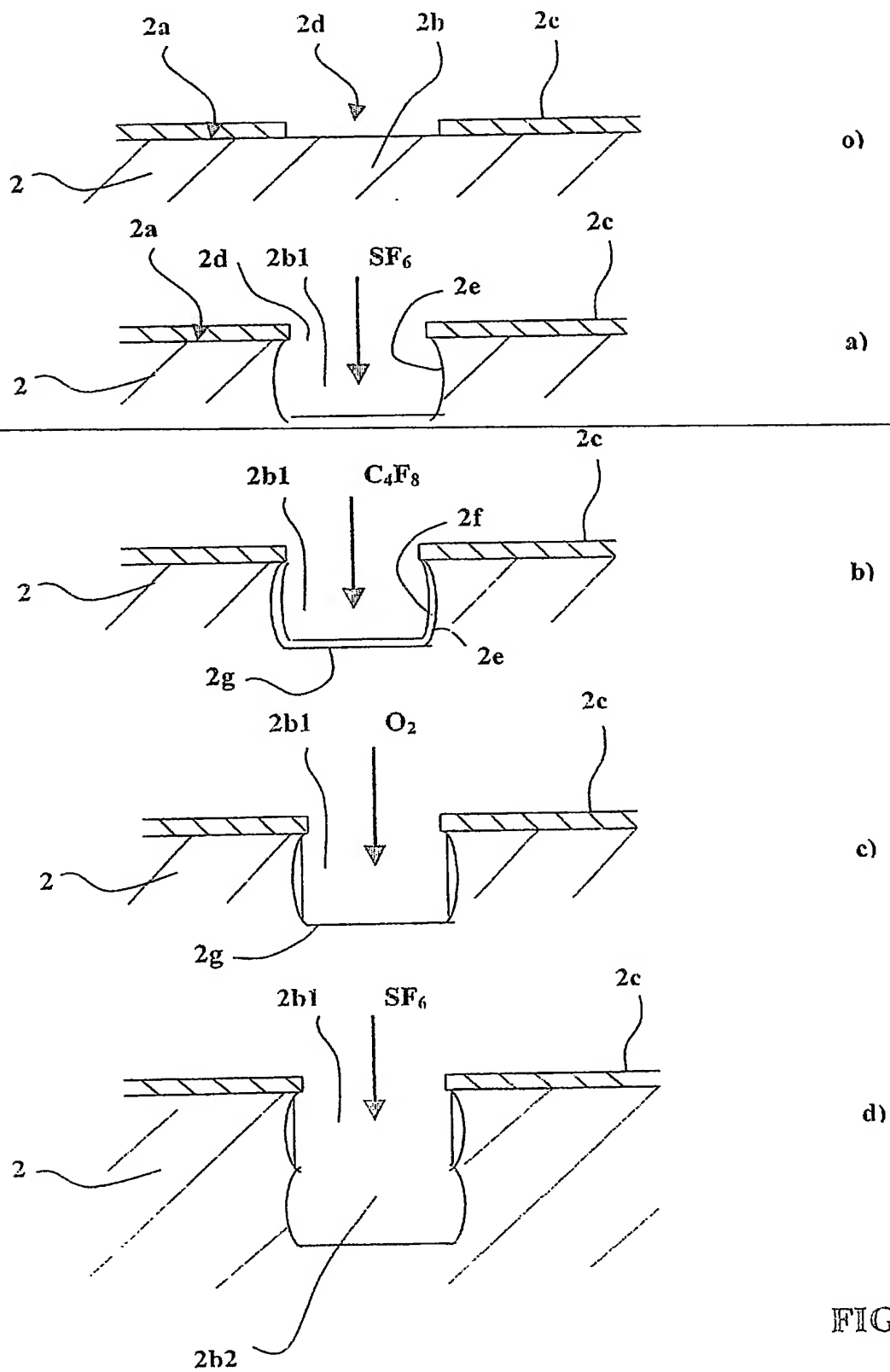


FIG. 6

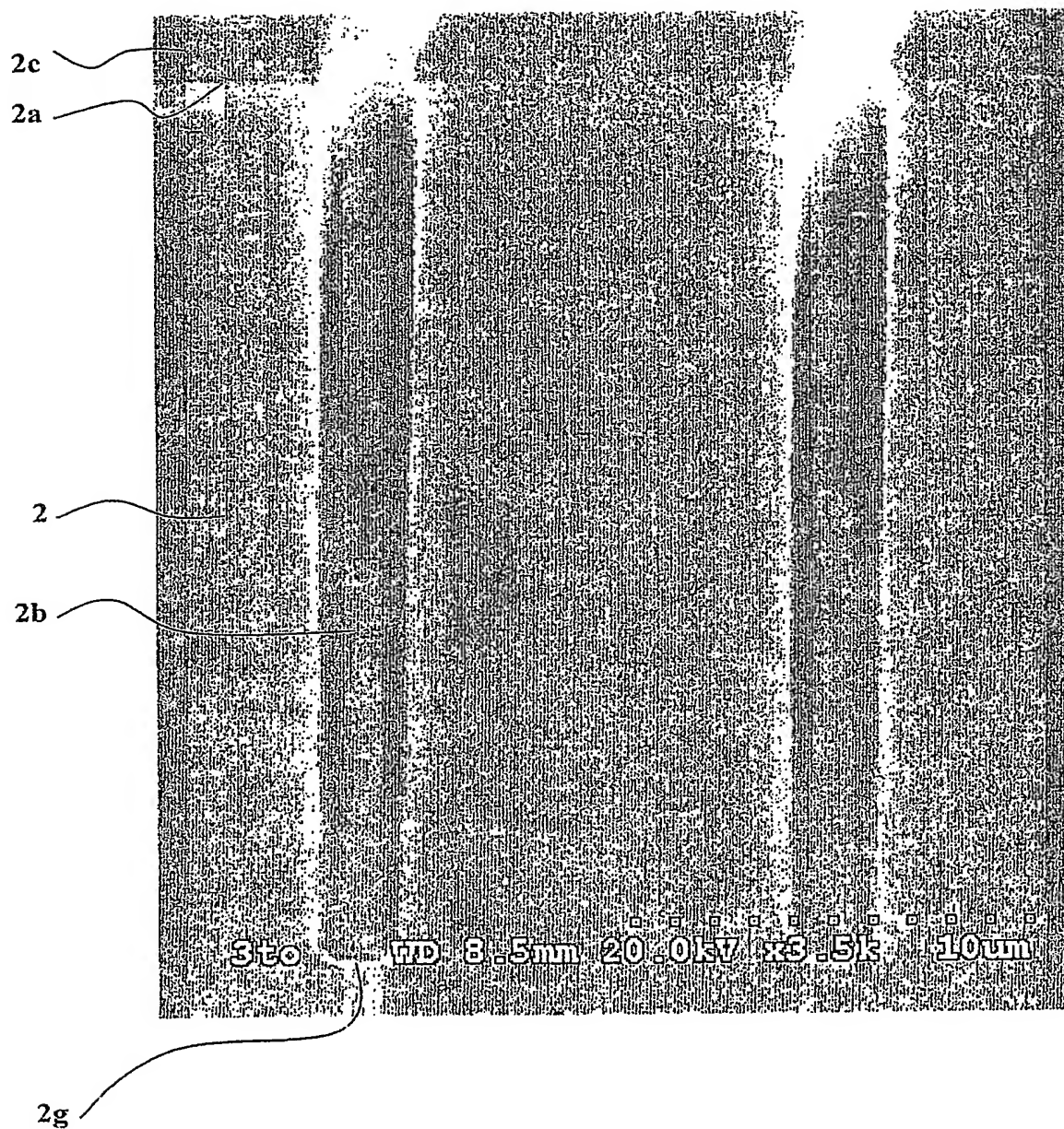


FIG. 7





DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75560 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ


Code de la propriété intellectuelle Livre VI

N° 11 255 02

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1./1..

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

Vos références pour ce dossier (facultatif)		104381/LA/CVAC/TPM	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		0200032	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) PROCÉDE ET DISPOSITIF DE GRAVURE ANISOTROPE DU SILICIUM A HAUT FACTEUR D'ASPECT			
LE(S) DEMANDEUR(S) :  Société anonyme <b>ALCATEL</b>			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		PUECH	
Prénoms		Michel	
Adresse	Rue	9 CHEMIN DU BOIS BERNARD	
	Code postal et ville	74370   METZ TESSY, FRANCE	
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) <del>RECEVUE</del> DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		2 janvier 2002 Bernard LAMOUREUX 	

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire. Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**